

断面形状設定可能な切削線と  
合成法指定可能なレイヤを用いた  
レリーフモデリングツール  
Relief modeling  
by designing cross section on carving line  
and blending object layers

米澤 航太  
Kota Yonezawa

高橋 伸  
Shin Takahashi

柴山 悦哉  
Etsuya Shibayama

東京工業大学 情報理工学研究所 数理・計算科学専攻  
Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology  
[yonezaw8@is.titech.ac.jp](mailto:yonezaw8@is.titech.ac.jp)

レリーフとは、基準となる平面から浮き出た形状の 3D オブジェクトである。レリーフでは、エッジの部分の形状と高低差による遠近感の強調が、特に重要な表現として挙げられる。本論文では、レリーフモデリングのための、以下の 2 つのインタフェースを提案する。一つは、エッジのモデリングのための、切削線とその断面形状指定インタフェースである。もう一つは、オブジェクトを別々に管理し、高低差をつけて組み合わせるためのレイヤシステムである。これらのインタフェースを持つツールを実装し、有効性の考察を行った。

## 1. はじめに

レリーフとは、ある基準となる平面から浮き出た形状の、薄い 3D オブジェクトである。一般の 3D オブジェクトよりむしろ 2D の絵に近いが、単なる 2D の絵を超える表現が可能である。始めに、その表現手法について考察する。

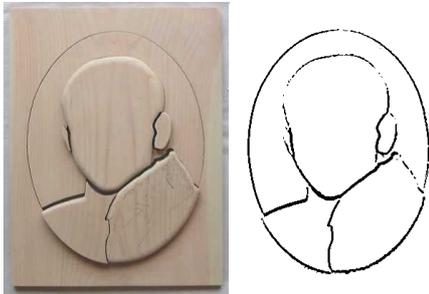


図 1: エッジを丸めた表現例[4]

図 1 左のレリーフは、図 1 右の線画に立体感を与えたものと考えることが出来る。しかし、左のレリーフでも人の顔の表面部分は平坦である。顔の丸みは、エッジを丸めることにより表現されている。

一般にレリーフは薄いため、オブジェクトの厚みをエッジの部分の強調により表現する手法が有効となる。



図 2: 高さの違いによる遠近感の表現[5]

図 2 のレリーフでも、単なる 2D の線画より、強い遠近感が感じられる。視点からの距離が近い鳥の部分は高く、遠い雲や草の部分は低く彫られているため、近い部分が飛び出したような感覚を与えることが出来る。このようにレリーフでは、高さに変化を与えることで遠近感を表現する手法も見られる。

これら 2 点に着目し、本論文ではレリーフを「立体感のある線画」としてとらえ、これをモデリングするためのインタフェースを提案する。

## 2. ツールの設計

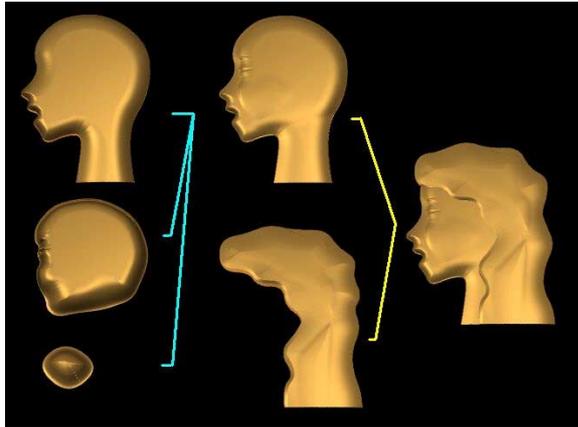


図 3: モデリングの例

図 3 に、本インタフェースでのレリーフモデリングの一例を示す。一番右が製作する人の横顔のレリーフである。まずこれを頭部と髪に分解する。次に頭部を、高さ方向に一番左の 3 つの薄い部分に分解する。これらは、エッジ部分の形状は比較的複雑だが他の部分は平坦である。これらを別々にモデリングし、それらを積み重ねるように合成すると、頭部が完成する。次に、別に作っておいた髪の毛を重ねると、人の横顔のレリーフの完成となる。

本論文では、このようなモデリングのための

1. オブジェクトのエッジの指定
2. オブジェクトの合成

のインタフェースを提案する。

### 2.1. 切削線上の断面形状指定

レリーフは、2D の絵としてみると線画である。この線画を構成する線を切削線と呼ぶ。本論文で提案するインタフェースでレリーフをモデリングするには、その線画を描くことが最初の作業となる。次にエッジ形状のモデリングは、切削線上の断面形状を設定することによって行う。木材で彫られた現実のレリーフでは、エッジ部分は彫刻刀で少しずつ削って作られるので、一つの切削線上の断面形状は必ずしも一定ではない。本手法では、こ

の断面形状を指定するために、切削線上の複数の点に、それぞれ自由な形状の断面を設定し、他の部分の断面を補間により求める。(図 4) 設定する点を増やせば、複雑なエッジ形状のモデリングも可能となる。

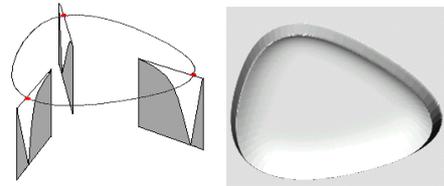


図 4: 左: 切削線と断面 右: 3D 形状

### 2.2. レイヤシステム

遠近感の表現のために、レイヤシステムを提案する。図 2 のようなレリーフを作るには、鳥、雲、草などをレイヤに分けて別々にモデリングし、後でレイヤ毎に高さを調整して合成すれば良い。

さらに、現実のレリーフには、図 3 の人の頬のふくらみのように、エッジ以外のオブジェクト内部の凹凸による表現も存在する。このような形状のモデリングも可能とするため、レイヤの合成方法として、次の 2 種類を用意する。(図 5)

1. 2 つのオブジェクトの高さの最大値をとることにより、高さの高いオブジェクトが低い方のオブジェクトの上に覆い被さるようにする方法
2. 1 つ目のオブジェクトの高さに 2 つ目のオブジェクトの高さを足し、オブジェクトが積み重なるようにする方法

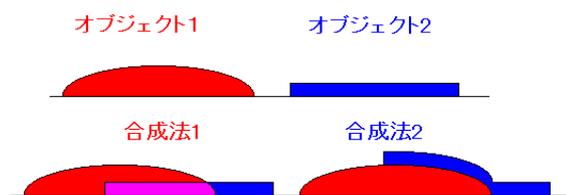


図 5: 真横からの二つの合成法の模式図

1 の方法は遠近感を強調する手法、2 の方法は、エッジ部分以外の凹凸を作る場合に使用する。図 3 の例では、始めの 3 つの部分の積み重ねて頭を作るときに 2 の方法、髪の毛と組み合わせるときに 1 の方法を使っている。レイヤは、図 3 の例のように階層化して管理される。

### 3. 実装

図 6 に、実装したレリーフモデリングツールの概観を示す。主なウインドウには、メインウインドウ、断面編集ウインドウ、3D 表示ウインドウがある。

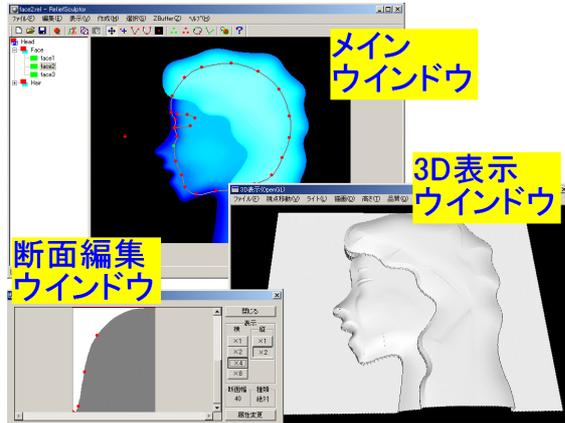


図 6: 作成したツール

メインウインドウは、左右 2 つのビューに別れている。左は、レイヤを階層的に管理するためのビューで、レイヤ構造がツリー状に表示される。図 6 では、横顔のレイヤは頭と髪のレイヤから構成され、さらに頭のレイヤは 3 つのレイヤから構成されている。右は切削線を編集するビューで、背景にはレリーフの高さが色の濃淡で表される。切削線はスプライン曲線により、自由な曲線を描くことができる。

断面編集ウインドウは、切削線編集ビューで切削線のコントロールポイントをダブルクリックすると表示される。各コントロールポイントにそれぞれ異なる断面を設定することが出来る。図 6 では、頬の部分の滑らかな断面が表示されている。断面は、スプライン曲線によって表され、自由な形状を設定可能である。

3D 表示ウインドウは、作成しているレリーフを 3D で表示する。濃淡画像だけでは分かりにくい 3D 形状を確認しながらの作業が可能である。

### 4. 考察

#### 4.1. 表現力

始めに、本ツールでのレリーフモデリングの表現力について考察する。まず、2D 線画イメージと

しての切削線の表現力だが、切削線はスプライン曲線で表され、既存の 2D ドローツールとほぼ同じようなインターフェースで編集できる。そのため、既存のドローツールで作成可能な線画は作成可能だと考えられる。

次に断面形状の指定では、コントロールポイントごとに断面形状を変化させることが出来る。(図 7) コントロールポイントを増やせば、かなり複雑なエッジも作成出来る。

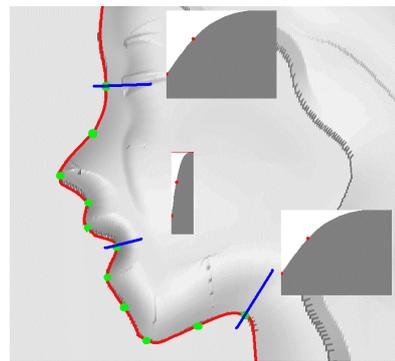


図 7:  
断面形状の指定例

同一切削線 (赤い太線) 上の断面形状をポイントにより変化させている。

エッジ以外の、オブジェクト間の遠近感表現やオブジェクト内部の凹凸に対しては、レイヤシステムにより分解してから組み合わせることで表現可能である。前述の人の横顔の例や、図 8 の作品例では、いずれも 10 枚以下のレイヤを重ねたものとして表現されており、各レイヤの切削線も平均 3 本程である。この様に、複雑なオブジェクトをかなり簡潔に表現することが出来る。

欠点としては、傾いた平面のような、全体的な高さの変化がある形状の表現が難しいという点が挙げられる。この点は、改良を考える必要がある。

#### 4.2. インタフェース

本インターフェースの特徴として、ユーザの操作を完全に 2D に限定した点が挙げられる。ユーザは、真上からの切削線編集と、真横からの断面編集のみで個々のレイヤのモデリングを行うことが出来る。操作面を固定することにより、一般的な 3D モデリングと比べると、操作が単純になる。断面形状指定では、断面形状と立体形状の間にギャップがあるため、ユーザはある程度想像力を働かせる必要がある。しかし、断面形状は単純でよい場合が多く、また大雑把な指定ですむ場合も多い。その

ため対応は比較的容易である。

### 4.3. 作品例

図 8 は、モデリングしたレリーフを POV-Ray[6]によりレンダリングした結果である。

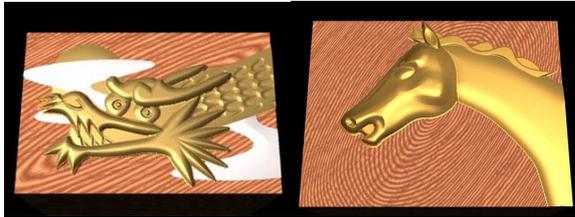


図 8: 作品例

## 5. 関連研究

既存の手法でレリーフをモデリングするには、3D 的手法と 2D 的手法がある。これらに分類して考察する。

### 5.1. 3D 的手法

始めに、一般の 3D オブジェクトに用いられる、3D メッシュやパッチによるモデリングを考える。薄い形状のため、扱いにくい点はあるものの、モデリングは可能である。しかし、2D の絵に近いレリーフのモデリングには、これらのインタフェースでは自由度が高すぎる。そのため、操作がどうしても煩雑になる。

P.Cignoni[1]らは、3D のオブジェクトを一方向につぶす処理を行うことで、レリーフを作る手法を提案している。正確なレリーフを作れるが、完全な 3D オブジェクトをあらかじめ用意する必要がある。

水野らは、仮想彫刻[2]という、3D オブジェクトに決まった 3D 形状を付加したり引いたりしてモデリングする手法を提案している。この手法は直感的であるが、レリーフに適用するには、3D モデリングツールと同じく、自由度が高すぎて扱いにくい。

### 5.2. 2D 的手法

既存の地形作成ソフトウェアには、2D のペイントソフトのように、マウスでドラッグした部分を、凹ませたり、盛り上がらせたりしながら 3D オブジェクトを作成するインタフェースが多数見られる。また、一部の 3D グラフィックスのソフトウェアには、2D のグレースケールイメージの明るさが高さを表すもの

として、3D のオブジェクトに変換する機能を備えるものがある。しかしこれらの手法では、図 6 のメインウインドウのように、高さの濃淡画像のような表示しかなく、z 軸(高さ)方向の形状の把握が難しい。また、真上からの操作だけでは、図 7 のようなエッジの断面形状を指定するのも難しくなる。

C.W.A.M. van Overveld[3]は、削る、膨らませる、滑らかにするなどの機能を持つ様々な種類のペンのようなツールを使い、3D オブジェクトに直接描くようにして編集する手法を提案している。前述した地形編集ソフトと異なるのは、地形編集ソフトの場合は、各ピクセルの高さのデータを扱うのみであったのに対し、この手法は一般の 3D オブジェクトの編集にも適用可能である点である。この手法はどちらかというと、一からのオブジェクトのモデリングより、粗いオブジェクトに細かなしわ等のディテールを加えるような作業用の手法である。

## 6. まとめと将来課題

レリーフのモデリングに特化したインタフェースを提案した。そのインタフェースを持つモデリングツールを実装し、表現力やインタフェースの考察を行った。

将来課題としては、詳細なユーザテストによる評価や、側面がえぐれたより複雑なレリーフ形状への対応が挙げられる。

### 参考文献

- [1] P.Cignoni, C.Montani, R.Scopigno. Computer Assisted Generation of Bas- and High-Reliefs. *Journal of Graphics Tools*, pp.15-28, 1997, <http://vcg.iei.pi.cnr.it/>
- [2] 水野慎士, 岡田 稔, 横井茂樹, 鳥脇純一郎, CSG を用いた仮想彫刻, 情報処理学会研究会資料, グラフィックスと CAD 研究会, 95CG73-3, pp.49-56, 1995
- [3] C.W.A.M. van Overveld. Painting gradients: freeform surface design using shading pattern. *Proc of Graphics Interface*, pp.151-158, 1996
- [4] 素晴らしき木彫レリーフの世界, <http://www2.sala.or.jp/~nkt/>
- [5] Woodcarving by W.F. (Bill) Judt, <http://huath.pair.com/bjudt/AssortedWebPages/myhome.html>
- [6] POV-Team. Persistence of vision raytracer version 3.1, <http://www.povray.org/>